

半导体光强反射式光纤温度传感器

肖韶荣

(南昌大学物理系, 南昌 330047)

摘要 介绍一种利用半导体表面反射率随温度变化研制的光纤温度传感器, 测量范围为 20—200℃, 响应速度 < 3s, 灵敏度 < 1.0℃, 这种传感器结构简单, 具有开关特性。

关键词: 半导体表面反射, 光纤, 温度传感器

1 引言

光纤温度检测技术是八十年代发展起来的新技术, 人们已用半导体对光的吸收特性研制成半导体吸收式光纤温度传感器^[1], 对半导体的表面光强反射随温度的变化则重视不够。在不少情况下半导体的这种光学性质, 仅是作为一种不利影响处理。事实上, 有些半导体材料其表面反射率随温度的变化较大, 这种变化可用于温度检测。

本文报导一种利用半导体表面光强反射随温度变化进行温度检测的光纤温度传感器, 用 N 型外延 GaAs 片作为温度敏感元件, GaAs 外延面为抛光面, 另一面为毛面, 以波长为 0.89μm 恒定光强的近红外光投射到 GaAs 光面上, 对反射光强随温度的变化进行了测量, 这种传感方法的测量范围为室温至 200℃, 灵敏度 < 1℃, 响应时间为 3s。

2 原理分析

在考虑半导体的光学性质时, 按照经典电磁理论, 可将其视为辐射引起强迫振动的振子集体^[2], 设 GaAs 材料自由载流子密度为 n 则 GaAs 的复介电常数为^[3]:

$$\epsilon_r = 1 - \frac{ne^2}{\epsilon_0 m^*} \cdot \frac{1}{\omega(\omega + j\beta)} \quad (1)$$

其中 m^* 为自由载流子的有效质量, ω 为辐射频率, β 为迟豫因子, β 可用平均自由时间 τ_c 表示 $\beta = 1/\tau_c$, 由 GaAs 半导体电子迁移率可知, τ_c 为 $10^{-12} \sim 10^{-13}$ s, 在近红外光波段, ω 为 $10^{14} \sim 10^{15}$ s⁻¹, $\omega\tau_c \gg 1$, 因此, 可将 GaAs 的折射率 \bar{n} 表示为:

$$\bar{n}^2 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\omega_c}{\omega}\right) \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\omega_c^2}{\omega \tau_c (\omega^2 - \omega_c^2)}}\right] \quad (2)$$

其中,令 $\omega_c^2 = ne^2 / (\epsilon_0 m^*)$ 。

根据半导体理论⁽⁴⁾,不计电离情况下, τ_c 可表述为:

$$\frac{1}{\tau_c} = a_1 T^{3/2} + a_2 / \left[\exp\left(\frac{h\omega_l}{K_B T}\right) - 1\right] \quad (3)$$

a_1, a_2 为与有效质量有关的因子, ω_l 为光学声子频率。

正入射下,半导体表面的反射率为:

$$R = \frac{(\bar{n} - 1)^2 + k^2}{(\bar{n} + 1)^2 + k^2} \quad (4)$$

GaAs 材料对近红外光近于透明介质,因此 $\bar{n} \gg k$, GaAs 表面反射率的变化主要取决于折射率的变化。由于实验时,所用 GaAs 片厚度约为所用光波长的四百倍,可将 GaAs 片反射率作为厚膜反射率处理⁽³⁾。由(2)、(3)、(4)式可知当温度增加时,半导体表面反射率 R 增加,温度较低时, $\frac{1}{\tau_c}$ 主要取决于 $T^{3/2}$,温度较高时, $\frac{1}{\tau_c}$ 呈 $[\exp(\frac{h\omega_l}{K_B T}) - 1]^{-1}$ 变化,这意味着,低温时, GaAs 表面反射率随温度的增长缓慢,而在较高温度下,其表面反射率的增长较快。

3 传感器结构与测量装置

图(1)是半导体表面光强反射式光纤温度传感器的结构, GaAs 片的厚度为 0.32mm,其光面紧贴光纤端面。测温头的直径约为 0.7mm。

图(2)是测温实验装置,装置中的光源为 0.89 μm 高亮发光二极管,为减少环境干扰,光源驱动电路工作频率为 40kHz,以 Si-PIN 型光电二极管作为探测器,实验时由 LED 发出的近红外光经准直,由分光片分成光束 1 和光束 2,光束 1 再经聚焦耦合到光纤内,光纤内的光束传输到另一端,并投射到 GaAs 表面上,经表面反射的光束沿光纤返回到分光片,投射到探测器 D_1 上,转换后的光电信号经放大,带通滤波和有效值一直流转换处理,最后被显示,为减少光强变化对测试的影响,将光束 2 作为稳光强电路的参考光束。用热惯性小的微型铜-康铜热电偶测量光纤温度传感器探头附近的温度,改变加在发热体上的电压,即可测得不同温度下

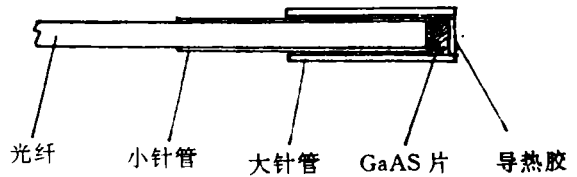


图 1 光强反射式光纤温度传感器结构

表面反射的光束沿光纤返回到分光片,投射到探测器 D_1 上,转换后的光电信号经放大,带通滤波和有效值一直流转换处理,最后被显示,为减少光强变化对测试的影响,将光束 2 作为稳光强电路的参考光束。用热惯性小的微型铜-康铜热电偶测量光纤温度传感器探头附近的温度,改变加在发热体上的电压,即可测得不同温度下

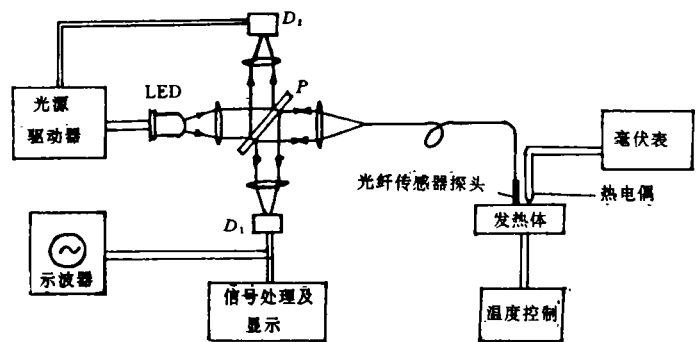


图 2 半导体光强反射式光纤温度传感器实验装置

的反射光强的相对变化。

4 实验结果与讨论

图(3)给出了由上述实验装置测得的 GaAs 表面光强反射式光纤温度传感器的输出曲线,在室温 20℃ 至 120℃ 附近, GaAs 表面反射光强随温度增加而缓慢增大,在 120℃ 至 180℃ 范围内 GaAs 表面反射光强随温度增加快速增长,此后反射光强增长缓慢,至 200℃ 反射光强达最大,温度继续增加,反射光强几乎不变。传感器的这一特性如同一个温度开关,输出曲线的变化趋势与经典理论分析一致。

经测量这种结构的光纤温度传感器其输出随温度变化的响应速度较快。在所给结构参数下,响应时间 < 3s 对不同厚度的 GaAs 材料进行了测量,厚度对测量精度的影响可忽略不计,此特性正是厚膜反射率的特点,半导体反射式的这一输出特性与半导体吸收式的情况不同,但厚度对响应速度影响较大,在响应速度要求较高的场合,应尽量控制 GaAs 片的厚度,并尽量减少导热胶薄层的厚度, GaAs 的厚度小于 300 μm 时,传感器的响应时间可控制在 2 秒内。半导体光强反射式光纤温度传感器在不同温度区域的灵敏度差异较大,在室温至 100℃ 区域内,其灵敏度约为 3.0℃,在 120℃ 至 180℃ 平均灵敏度小于 1.0℃,笔者认为,导致这一结果的原因是 GaAs 材料中自由载流子在不同温度下,各种机制的散射对反射率的影响程度的变化。

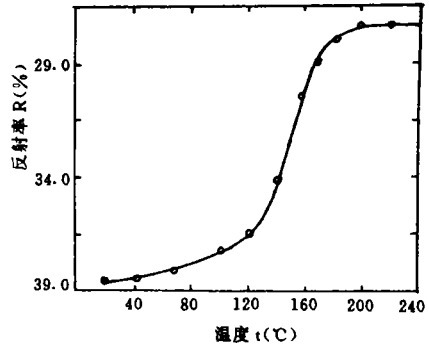


图 3 半导体反射光纤温度传感器输出曲线

5 结束语

利用 GaAs 表面反射率随温度的变化构成的光纤温度传感器,结构简单,仅有一根光纤,无入射光纤和出射光纤的耦合误差,响应速度快,具有开关特性,适合一些测控系统中用作温度开关。

致谢:南昌大学曾庆城教授提供了 GaAs 材料,给予了大力支持,本工作进行中得到长春光学精密机械学院王奎雄教授的许多帮助,籍此一并致以感谢。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞复等, 光纤传感器及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [2] J. I. PanKove, Optical Processes in Semiconductors. prentice-Hall, Inc. , 1971
- [3] M. 玻恩, E. 沃耳夫著, 黄乐天等译, 光学原理. 北京: 科学出版社, 1981
- [4] 刘恩科等, 半导体物理学. 北京: 国防工业出版社, 1994

Fiber-optic Sensing of Temperature Based on Light Reflected from Semiconductor Surface

Xiao Shaorong

(*Department of Physics Nanchang University, Nanchang 330047*)

Abstract

The use of the reflectance of semiconductor surface changing with temperature to make fiber-optic temperature sensor is described. The measuring range of the sensor is 20°C to 200°C. It's responsive time constant is less than three seconds and it's sensitivity limit is 1°C. The structure of the sensor is simple. It's output has a switch property.

Key words: Reflection of semiconductor surface, Optical fiber, Temperature sensor